

УДК 621.391.82:621.396.6

**К ВОПРОСУ ВЫБОРА РАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ
СЕТЕВЫХ ЗАКЛАДНЫХ УСТРОЙСТВ АУДИОКОНТРОЛЯ****Сергей Емельянов, Виктор Гаращук***Международный гуманитарный университет**Анотація:* Рассматривается задача оптимизации возможного рабочего диапазона частот сетевых закладных устройств, которые используются в целях аудиоконтроля помещений.*Summary:* The task of optimization possible worker range of frequencies of networks mortgages of devices which are used for the audiocontrol of apartments is examined.*Ключевые слова:* Сетевое закладное устройство, рабочий диапазон частот, фильтрация сетевого напряжения, электрический канал утечки информации.**I Введение**

Сетевые закладные устройства (СЗУ), предназначенные для негласного съема акустической (речевой) информации из выделенных помещений с передачей ее по электросети, обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами устройств аудиоконтроля [1 – 3]. Это обуславливает актуальность проблемы эффективного блокирования СЗУ в электрических каналах утечки информации (ЭКУИ). Эффективность блокирования независимо от выбранного способа защиты существенно зависит от возможного рабочего диапазона частот (РДЧ) применяемых СЗУ. Данный параметр наряду с энергетическими показателями СЗУ лежит в основе выбора сетевых помехоподавляющих фильтров и сетевых генераторов шума. Их базовые характеристики (коэффициент затухания, излучаемая мощность помехи) увязаны с требуемым диапазоном защищаемых частот.

В [1, 2] отмечено, что наиболее вероятным является диапазон частот СЗУ в пределах (50...300) кГц. Это объясняется тем, что на частотах ниже 50 кГц относительно высок уровень помех от бытовой техники, промышленного оборудования, лифтов и т. д. На частотах свыше 300 кГц существенно затухание сигналов при распространении в электросети. Кроме того, провода начинают действовать как распределенная антенна, излучая сигнал в окружающее пространство, демаскируя работу СЗУ.

Однако строгого аналитического решения задачи выбора, обоснования или оптимизации РДЧ СЗУ не приводится, как и отсутствуют результаты количественной оценки влияния различных, в том числе вышеперечисленных, ограничивающих условий.

Целью статьи является обоснование возможного РДЧ СЗУ в типовом ЭКУИ на основе стандартной электросети (220 В, 50 Гц) и анализ факторов, влияющих на него.

II Постановка задачи

Сформулируем задачу оптимизации следующим образом. Найти максимальный рабочий диапазон частот СЗУ $\Delta f_{сзу}$ при условии ограничений на нижнюю f_n и верхнюю f_v частоты:

$$\begin{cases} \Delta f_{сзу} = f_{всзу} - f_{нсзу} \rightarrow \max \\ f_{нсзу} \geq f_{нкр} \\ f_{всзу} \leq f_{вкр}, \end{cases} \quad (1)$$

где критические значения нижней $f_{нкр}$ и верхней $f_{вкр}$ частот обусловлены рядом факторов, также нуждающихся в исследовании.

III Основная часть

Можно согласиться с [1, 2], что при f_n менее 50 кГц уровень промышленных помех возрастает. Однако вряд ли это обстоятельство можно считать главным и единственным ограничивающим фактором, поскольку относительное возрастание уровней индустриальных помех со снижением частоты можно скомпенсировать, например, увеличением мощности передатчика СЗУ. Более предпочтительным при обосновании $f_{нкр}$ представляется учет необходимости обеспечения надежного функционирования всех

элементов СЗУ, что может быть получено только хорошей фильтрацией сетевого напряжения U_c в согласующем устройстве СЗУ.

$$U_c = U_{ct} \pm \Delta U, \quad (2)$$

где: U_{ct} – стандартное сетевое напряжение (220 В, 50 Гц); $\Delta U = (10-20)\% U_{ct}$ – перепады напряжения в электросети (ЭС), обусловленные случайными факторами.

Учтем, что сбой в работе цифровых микросхем возникает при появлении на шине питания импульса с амплитудой $U_{кр} \geq 1В$ (при длительности импульса в десятки...сотни нс) [4]. Тогда требуемое затухание сетевого напряжения в СЗУ должно составлять не менее

$$A_{затух}^{треб} = 20 \lg \frac{U_c}{U_{кр}}. \quad (3)$$

Подобная задача наиболее просто решается с помощью пассивных или активных ФВЧ на индуктивно-емкостных элементах. Известно также, что массогабаритные показатели фильтров зависят от значений напряжения и токов, при которых работает фильтр, а также его вносимого затухания. Причем, объем и масса фильтра определяются, в основном, элементами, обеспечивающими его вносимое затухание на нижней частоте f_n защищаемого диапазона частот [5].

В зависимости от вида АЧХ (от вида аппроксимирующего полинома фильтрующей функции) ФВЧ может представлять фильтр Баттерворта, имеющий минимальную неравномерность АЧХ в полосе пропускания, или фильтр Чебышева, позволяющий получить максимально возможную крутизну спада АЧХ при заданном порядке фильтра [6].

В случае, например, фильтра Баттерворта его АЧХ аппроксимируется выражением

$$K^2(\nu) = \frac{\nu^{2n}}{1 + \nu^{2n}}, \quad (4)$$

где: n – степень аппроксимирующего полинома; ν – относительная величина, равная ω_{cp} / ω ; ω_{cp} – частота среза, на которой $|K(\nu)|$ уменьшается в $\sqrt{2}$ раз (3 дБ); ω – текущая частота.

При исчислении $|K(\nu)|$ в децибелах (4) приводится к виду

$$K(\nu) = 20 \lg K(\nu) = -10 \lg(1 + \nu^{2n}), \text{ дБ}. \quad (5)$$

Пусть $\nu = 10^y$, где y – число декад. Тогда

$$K(\nu) = -10 \lg(1 + 10^{2yn}), \text{ дБ}. \quad (6)$$

На частоте среза ($\nu = 1, y = 0$) затухание равно 3 дБ. Вне полосы прозрачности ФВЧ при $10^{2y} \gg 1$ выражение (6) определяет прямую линию

$$\frac{1}{K(\nu)} = 10 \lg 10^{2yn} = 20yn, \text{ дБ}. \quad (7)$$

Из (7) видно, что ослабление АЧХ многозвенного фильтра равно $20n$ дБ на декаду. Тогда требуемое затухание такого ФВЧ должно составлять с учетом (3)

$$\frac{1}{K(\nu)} \geq A_{затух}^{треб}, \text{ дБ}. \quad (8)$$

Причем достигаться условие (8) должно на стандартной частоте $f_c = 50$ Гц. Обобщая (2) – (8), можно сделать вывод, что нижняя граница частотного диапазона СЗУ будет составлять

$$f_{нсзу} \geq f_c \cdot 10^{\frac{A_{затух}^{треб}}{20n}}, \quad (9)$$

где требуемое затухание вычисляется в соответствии с (3).

Графики зависимости (9) при различных параметрах n приведены на рис 1.

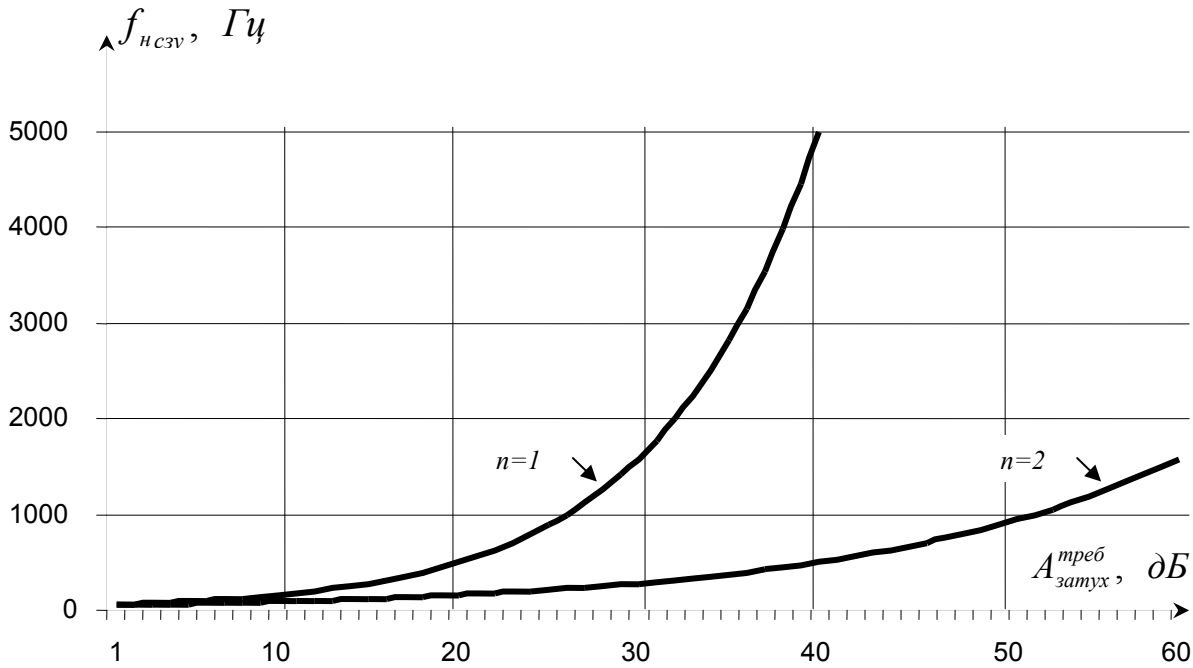


Рисунок 1 – К расчету значения нижней критической частоты

Пусть, например, $U_{ст} = 220 \text{ В}$; $f_c = 50 \text{ Гц}$; $U_{кр} = 1 \text{ В}$; $\Delta U = (10-20)\% U_{ст}$. Тогда на основе (3) $A_{затух}^{треб} = 46-48 \text{ дБ}$, $f_{нкр} = (10...12) \text{ кГц}$ при $n=1$ и $f_{нкр} = 700 \text{ Гц}$ при $n=2$.

Учтем, что в миниатюрных СЗУ существуют очень жесткие ограничения на массогабаритные показатели всех элементов, в том числе ФВЧ. Поэтому разумно предположить, что для решения указанной задачи в составе СЗУ будет использован простейший однозвенный LC – фильтр первого порядка ($n=1$).

Тогда, в силу вышеизложенного, можно полагать, что $f_{нсзу} \geq f_{нкр} \geq 10 \text{ кГц}$.

Значение верхней критической частоты $f_{вкр}$, ограничивающей рабочий диапазон СЗУ сверху $f_{всзу} \leq f_{вкр}$, должно выбираться исходя из условий обеспечения малых уровней излучаемой в эфир проводами ЭС мощности, а также обеспечения уверенного приема информационного сигнала СЗУ на заданных дальностях в условиях их затухания в линии передачи.

Известно, что данные показатели, характеризующие, соответственно, скрытность работы СЗУ и величину затухания сигналов в линиях передачи, возрастают с увеличением частоты.

Распространение электромагнитной волны в проводнике сопровождается тепловыми потерями, характеризующимися величиной затухания в линии β_l . Токи высокой частоты, проходя по проводнику, сосредотачиваются, главным образом, у его поверхности. Указанное явление носит название поверхностного эффекта (или скин-эффекта). При резко выраженном поверхностном эффекте электромагнитное поле и ток в проводнике сосредоточены лишь в очень тонком слое, толщина которого мала по сравнению с радиусом кривизны линии, ограничивающей поперечное сечение провода. При круглом проводе радиуса a поверхностный эффект наступит при условии [7]

$$\frac{a}{\Delta} \geq K_3, \quad (10)$$

где: – $\Delta = \frac{1}{\beta_l} = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_a \sigma}}$ толщина эквивалентного поверхностного слоя (или эквивалентная глубина

проникновения электромагнитной волны); μ_a – абсолютная магнитная проницаемость материала провода; σ – его удельная проводимость; K_3 – коэффициент запаса, $K_3 = 5...10$.

Условие (10) эквивалентно неравенству

$$\sqrt{\pi f \mu_a \sigma} \leq \frac{K_3}{a}. \quad (11)$$

Тогда для выполнения условий скин-эффекта (минимальных потерь на затухание в глубине провода) верхнее значение критической рабочей частоты СЗУ должно удовлетворять условию

$$F_{в\text{сзу}} \leq F_{в\text{кр}} = K_3^2 / a^2 \pi \mu_a \sigma. \quad (12)$$

График зависимости (12) для различных радиусов a и материалов проводов ЭС (медь: $\sigma_a = 5,8 \cdot 10^7$ Гн/м; $\mu_a = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Сим/м; алюминий: $\sigma_a = 3,57 \cdot 10^7$ Гн/м; $\mu_a = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Сим/м; сталь: $\sigma_a = 1,02 \cdot 10^7$ Гн/м; $\mu_a = 180\mu_0 = 2,26 \cdot 10^{-7}$ Сим/м;) приведены на рис. 2 ($K_3 = 5$).

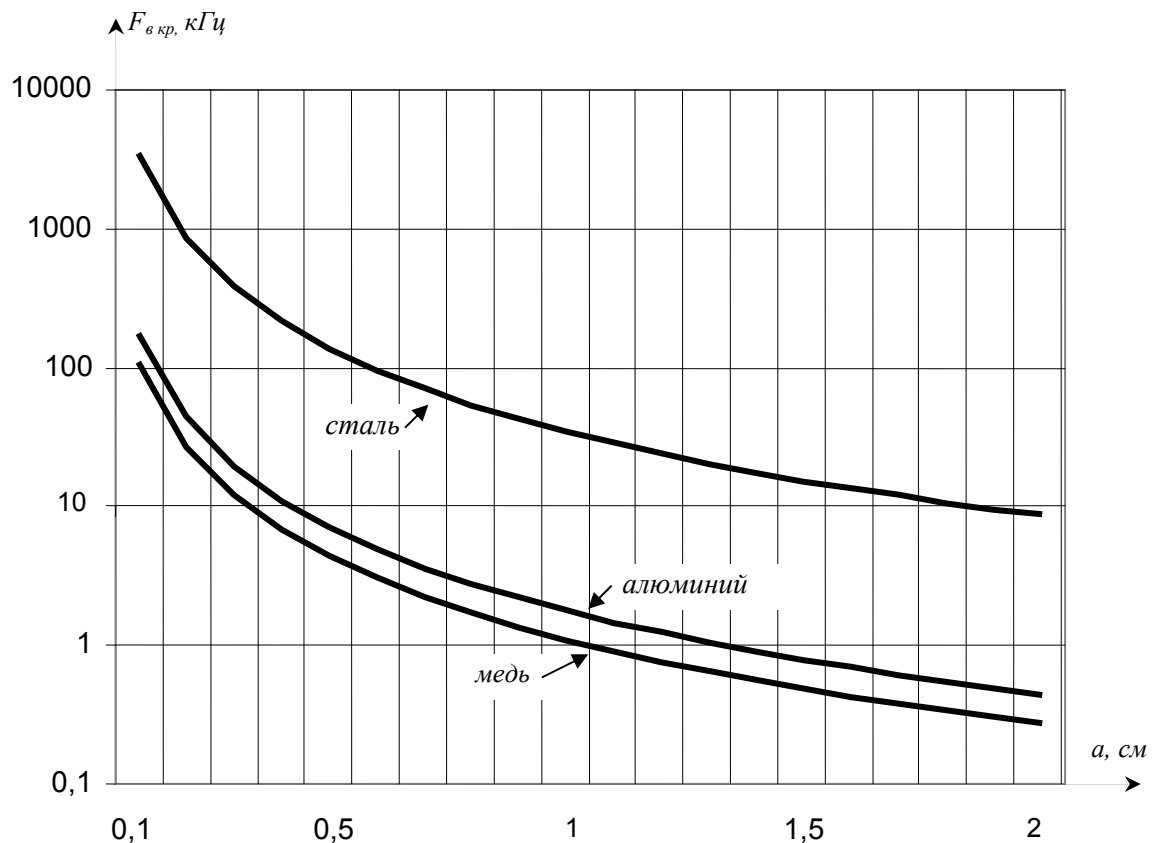


Рисунок 2 – К расчету значения верхней критической частоты

Энергия, уносимая излученным полем, будет пренебрежимо мала, если выполняется условие [7]

$$2\pi D \ll \lambda, \quad (13)$$

где D – расстояние между проводами ЭС, образующими систему диполей, λ – длина волны.

Следовательно при выборе верхней критической частоты, ограничивающей работу СЗУ, кроме условия (11) необходимо учитывать и условие (13). Тогда при $D = 5 \text{ мм} \dots 1 \text{ см}$ следует, что $f_{в\text{сзу}} \leq f_{в\text{кр}} = (1 \dots 2) \text{ МГц}$.

Нетрудно заметить, что условие (12) является более жестким, чем условие (13).

Таким образом, при выборе рабочего диапазона СЗУ следует учитывать условия

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{н\text{ кр}} \leq f_{сзу} \leq f_{в\text{ кр}} \\ f_{н\text{ кр}} \geq f_c 10^{\frac{A_{затух}^{треб}}{20n}} \\ f_{в\text{ кр}} \leq \frac{K_z^2}{a^2 \pi \mu_a \sigma} \end{array} \right. \quad (14)$$

При выше оговоренных численных значениях параметров, входящих в (14), имеем для типовой ЭС РДЧ $10 \text{ кГц} \leq f_{сзу} \leq (400 \dots 800) \text{ кГц}$.

IV Выводы

1. Проведена оптимизация частотного диапазона работы СЗУ. Показано, что нижнее значение частоты СЗУ ограничено требуемым затуханием сетевого напряжения (220 В, 50 Гц) в элементах СЗУ для их нормального функционирования. Верхняя граница рабочей частоты обусловлена необходимостью учета скин-эффекта, условиями, при которых излучение ЭС в пространство минимально.

2. Рассчитано, что для типовых двухпроводных ЭС диапазон работы СЗУ может составлять значения от сотен Гц – десятков кГц до нескольких сотен кГц, что подтверждается результатами зарубежных практических исследований СЗУ [8]. Конкретный диапазон рабочих частот СЗУ зависит от его массогабаритных характеристик (количества звеньев n в ФВЧ), электромагнитных свойств провода ЭС (относительной магнитной проницаемости μ и удельной проводимости материала провода σ) и его толщины (радиуса a).

3. Полученные результаты более хорошо, чем известные источники [1, 2] согласуются с опубликованными в Интернет данными американских специалистов в области TSCM (комплексной безопасности и мониторинга выделенных помещений) Granite Island Group по исследованиям радиочастотного спектра, используемого мировыми производителями устройств аудиоконтроля [8]. В них, в частности, выделены три “окна угроз”, в которых с разной вероятностью возможно применение СЗУ: первое окно – высокая вероятность применения СЗУ – диапазон частот от 100 до 450 кГц, второе – средняя вероятность – от 3 до 750 кГц, третье – от 5 до 3000 кГц – при относительно низкой вероятности применения СЗУ.

Литература: 1. Хорев А. А. Защита информации от утечки по техническим каналам. Часть 1. Технические каналы утечки информации. Учебное пособие – М.: Гостехкомиссия России, 1998. – 320 с. 2. Энциклопедия промышленного шпионажа/ Под ред. Е. В. Куренкова. С.-Петербург: "Изд. Полигон", 1999. – 512 с. 3. Емельянов С. Л., Логвиненко Н. Ф., Марков С. И., Носов В. В. Технические методы защиты каналов утечки информации по электросети// Бизнес и безопасность. – 2000. – №2. – С.8–9. 4. С. А. Сухоруков. Защита компьютерных систем от преднамеренного разрушения воздействием по сети питания//Защита информации. Конфидент. – 1996. – №3. – С.73–81. 5. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания// Г. С. Векслер и др. К.: Техника. – 1990. – 167 с. 6. И. С. Гоноровский. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь. – 1986. – 512 с. 7. Красюк Н. П., Дымович Н. Д. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебное пособие для радиотехнических вузов и факультетов. – М.: Высшая школа. – 1974. – 536 с. 8. <http://www.bnti.ru>. James M. Atkinson, Granite Island Group. Частоты закладок.

УДК 381.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Сергей Ливенцев, Алексей Кувшинов, Дмитрий Миночкин
СФ СБУ ВИТИ НТУУ «КПИ»

Аннотация: Предложена модель информационно-телекоммуникационной системы, как